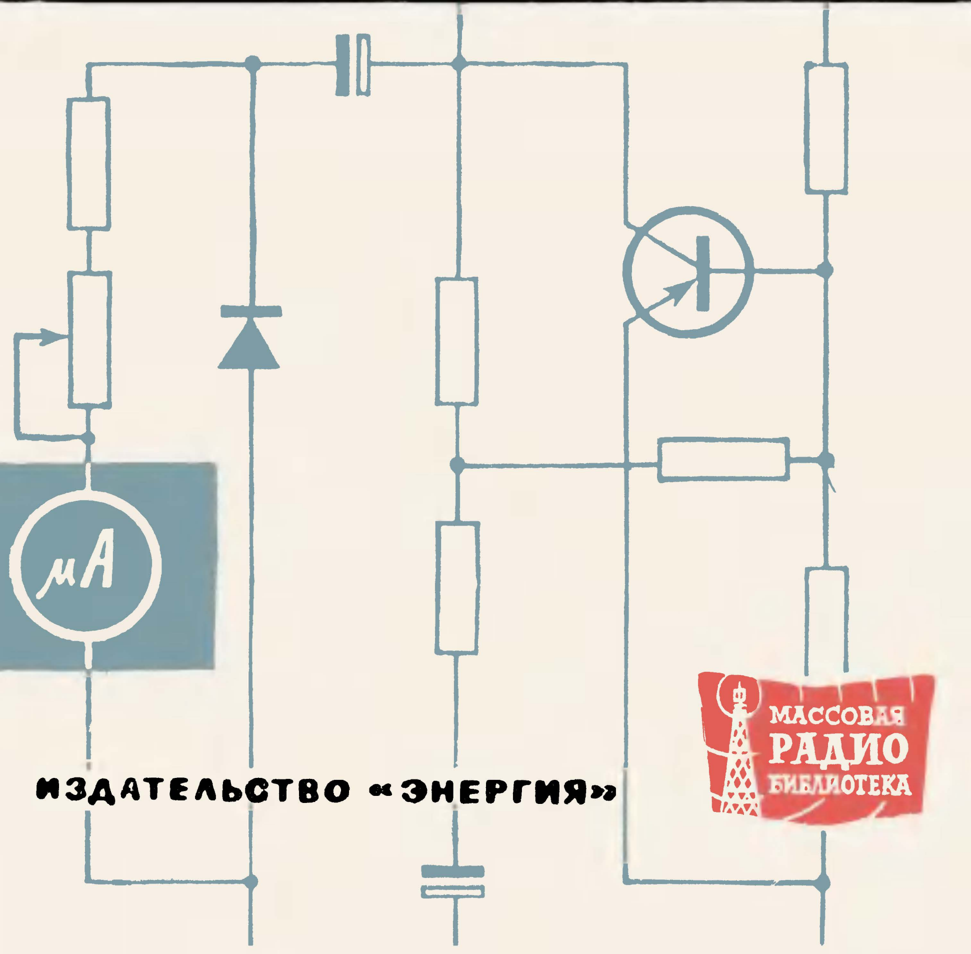
М.И. БАЛАШОВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 576

М. И. БАЛАШОВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.317
Б20

Описаны измерительные приборы (электронный вольтметр, прибор для проверки транзисторов, сигнал-генераторы и др.), изготовленные автором.

Брошюра предназначена для широкого круга радиолюбителей-конструкторов.

СОДЕРЖАНИЕ

Балашов Михаил Иванович

Измерительные приборы радиолюбителя. М.—Л., издательство «Энергия», 1965.

32 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 576)

Тематический план 1964 г., № 324

Редактор *А. Х. Якобсон* Техн. редактор *Г. С. Юдаева*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 30/I 1965 г. Подписано к печати 3/IV 1965 г.
Бумага 84×108[1]/[32] Печ. л. 1,64 Уч. изд. л. 2,2
Т—03573 Тираж 150 000 Цена 09 коп. Зак. № 394.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати.
Гор. Владимир, ул. Б. Ременники, д. 18-б

ЭЛЕКТРОННЫЙ ВОЛЬТМЕТР

Краткая характеристика. Ламповые вольтметры, обладающие высоким входным сопротивлением, позволяют измерять напряжения практически на любых участках радиосхем без нарушения режима их работы, например на электродах ламп, на нагрузке детектора и т. п.

Описываемый вольтметр предназначен для измерения постоянных напряжений, а также переменных напряжений низкой (10 *гц*—100 *кгц*) и высокой (10 *кгц* — 50 *Мгц*) частот. Он имеет шесть пределов измерения (1,5, 5, 15, 50, 150 и 500 *в*), одинаковых как для постоянных, так и переменных напряжений. Для измерения напряжений высокой частоты предусмотрена выносная головка (пробник). Входное сопротивление низкочастотного входа на частоте 50 *гц* составляет примерно 7 *Мом*. Входная емкость выносной головки около 15 *пф*. Питается вольтметр от сети переменного тока напряжением 150—250 *в*. Потребляемая мощность 30 *вт*. Вес прибора около 3 *кг*. Его внешний вид показан на рис. 1.

Схема. Вольтметр состоит из делителя напряжения, усилителя постоянного тока, двух компенсированных детекторов и стабилизатора напряжения питания. Его принципиальная схема приведена на рис. 2.

Усилитель постоянного тока собран по мостовой схеме. Два плеча моста образованы двойным триодом $Л_3$, а два других, противоположных плеча — сопротивлениями R_{16}, R_{17} и R_{18}. В диагональ моста через переключатели $П_{1в}$ и $П_{1г}$ подключается показывающий прибор (микроамперметр μA).

Сопротивления нагрузки включены в катодные цепи триодов, что повышает линейность характеристик и уменьшает влияние сеточных токов лампы на работу усилителя. Установка нуля прибора производится изменением соотношения плеч моста при помощи переменного сопротивления R_{17}.

Левый по схеме триод лампы $Л_3$ через цепь $R_{15}C_4$ подключен к делителю напряжения R_8—R_{14}. При подаче на вход прибора положительного напряжения внутреннее сопротивление левого триода лампы уменьшается, а правого увеличивается. В результате происходит разбалансировка моста, в его измерительной диагонали появляется ток и стрелка микроамперметра отклоняется.

Показания прибора пропорциональны измеряемому напряжению, т. е. шкала его равномерна, так как в выбранных пределах изменения напряжения на сетке лампы внутреннее сопротивление

ее изменяется по линейному закону. При измерении положительных напряжений характеристика лампы линейна вплоть до напряжений на ее сетке порядка 40—50 *в*, при измерении же отрицательных напряжений линейность характеристики лампы нарушается. Для того чтобы можно было пользоваться одной и той же линейной шкалой как при измерении положительных, так и отрицательных напряже-

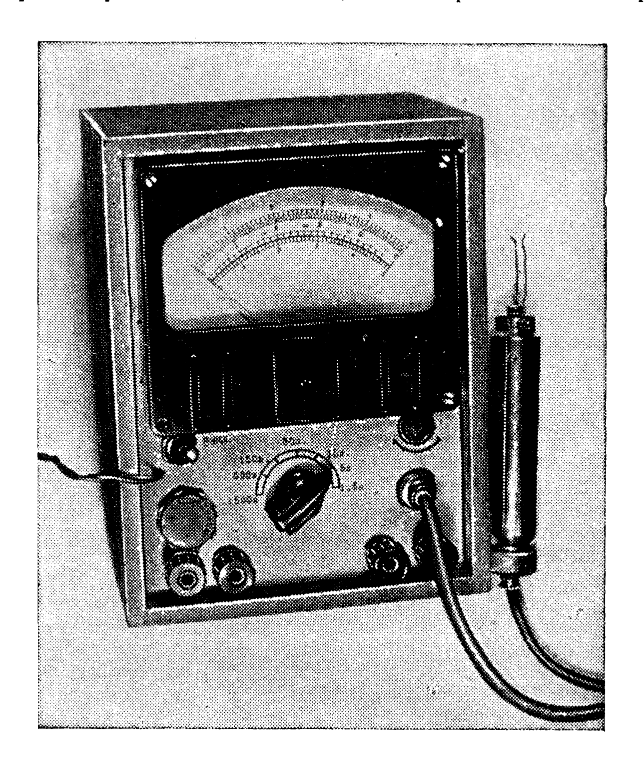


Рис. 1. Внешний вид лампового вольтметра.

ний, на сетки обоих триодов лампы $Л_3$ подается постоянное положительное смещение порядка 10 *в*, получаемое при помощи делителя $R_{19} R_{20}$ с заземленной средней точкой.

Цепь $R_{15}C_4$ служит для фильтрации переменного напряжения, возникающего на входе усилителя от наводок, создаваемых сетью переменного тока. Кроме того, сопротивление R_{15} несколько стабилизирует сеточный ток лампы.

Для измерения переменных напряжений в ламповом вольтметре применены два параллельных детектора с компенсацией: низкочастотный детектор на лампе $Л_1$ и высокочастотный на лампе $Л_2$. Оба они по устройству практически одинаковы, поэтому мы рассмотрим работу одного из них, например низкочастотного.

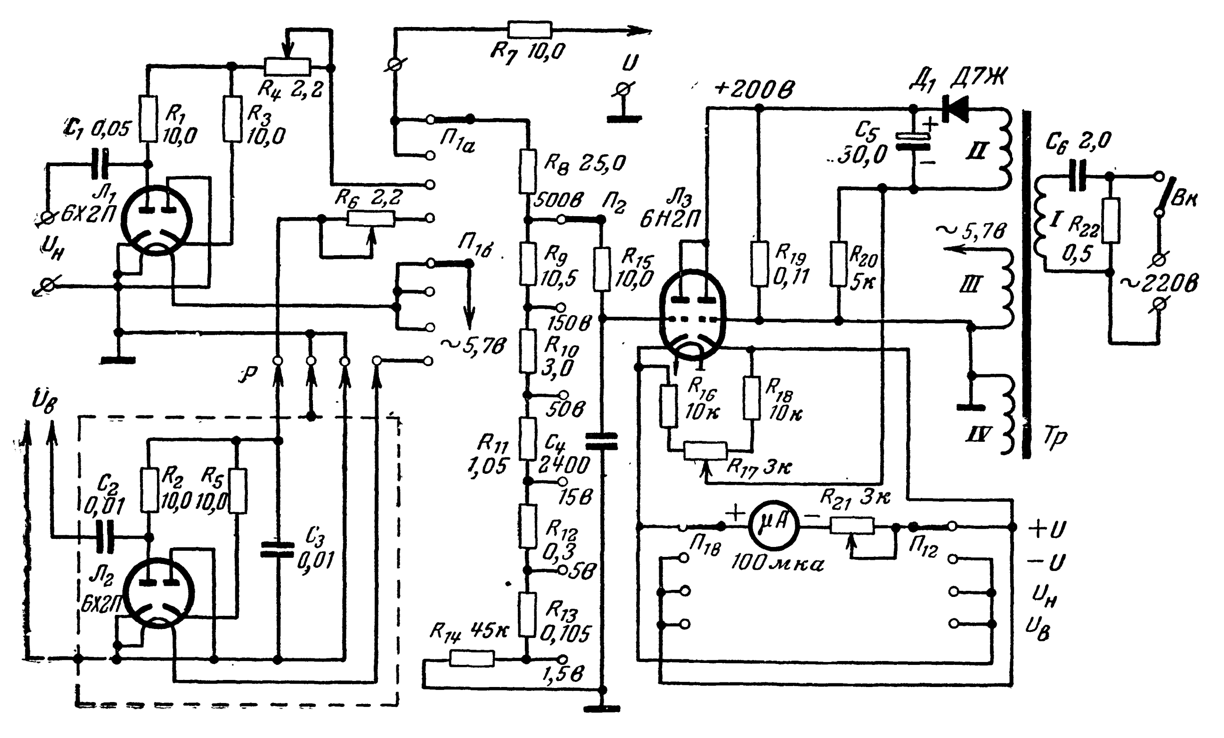


Рис. 2. Схема лампового вольтметра.

Напряжение подается на левый по схеме, детектирующий диод лампы $Л_1$ через разделительный конденсатор C_1. Образующееся на аноде этого диода постоянное напряжение отрицательной полярности через сопротивления R_1 и R_4 поступает на делитель R_8—R_{14}. Как известно, электроны, эмиттируемые накаленным катодом лампы, обладают некоторой начальной энергией. Они попадают на анод диода даже при отсутствии ускоряющего поля и заряжают анод до отрицательного напряжения 2—3 *в*. В ламповых диодных детекторах стараются избавиться от этого напряжения, так как оно вызывает нелинейность на чувствительных шкалах, сдвиг нуля при переключении диапазонов и др. В данном приборе указанное начальное напряжение детектора компенсируется таким же напряжением, возникающим на правом, компенсирующем диоде лампы $Л_1$. Его анод заземлен, поэтому начальное напряжение, снимаемое с компенсирующего диода, обратно по знаку начальному напряжению на детектирующем диоде. Складываясь на общем сопротивлении R_4, эти напряжения взаимно компенсируются. Изменения напряжения накала, старение лампы и т. п. мало влияют на компенсацию, поскольку параметры диодов лампы меняются примерно одинаково. Правый диод в некоторой мере улучшает также линейность характеристики детектора. Действительно, детектор дает напряжение отрицательной полярности, и часть выпрямленного тока замыкается через компенсирующий диод. Чем выше измеряемое переменное напряжение, тем лучше оно детектируется, но одновременно тем большая часть выпрямленного тока замыкается через компенсирующий диод. Из-за влияния нагрузки и некоторого различия параметров диодов осуществить полную компенсацию нелинейности детектора все же не удается.

Коэффициент передачи напряжения такого детектора меньше единицы. Для того чтобы пределы измерения постоянного и переменного напряжений были одинаковыми, при измерении постоянного напряжения к основному делителю R_8—R_{14} подключают добавочное сопротивление R_7; при измерении переменных напряжений — сопротивления R_6 или R_4.

Схема высокочастотного детектора отличается от рассмотренной схемы только наличием блокировочного конденсатора C_3. В низкочастотном детекторе для блокировки служит конденсатор C_4. Высокочастотный пробник подключается к прибору при помощи четырехштырькового разъема P.

Для перехода с одного вида измерения на другой служит четырехсекционный переключатель $П_1$. Секция $П_{1а}$ этого переключателя используется для подключения делителя R_8—R_{14} к зажиму U для измерения постоянного напряжения или к выходу соответствующего детектора, секция $П_{1б}$ отключает накал лампы неработающего детектора, а секции $П_{1в}$ и $П_{1г}$ служат для переключения полярности прибора при измерении положительного или отрицательного постоянного напряжения. Добавочное сопротивление R_7 смонтировано в щупе.

Напряжение полного отклонения измерительного прибора (микроамперметра) устанавливают при помощи переменного сопротивления R_{21}, позволяющего регулировать чувствительность вольтметра в целом. Переменные сопротивления R_4 и R_6 предназначены для калибровки чувствительности вольтметра при измерении низкочас-

тотного и высокочастотного напряжений, а также для совмещения шкал по постоянному и переменному напряжениям.

Для того чтобы показания лампового вольтметра не менялись при изменении напряжения источника питания (сети переменного тока от 150 до 250 *в*), в схему введен простейший феррорезонансный стабилизатор, представляющий собой трансформатор питания *Тр*, сетевая обмотка *I* которого и конденсатор C_6 образуют последовательный колебательный контур, настроенный на частоту 50 *гц*. Конденсатор C_6 должен быть рассчитан на рабочее напряжение не менее 600 *в*. Сопротивление R_{22} предназначено для разряда этого конденсатора при выключении вольтметра.

Детали и конструкция. Трансформатор питания *Тр* собран на сердечнике из пластин УШ-20, толщина пакета 20 *мм*. Сетевая обмотка *I* содержит 2 100 витков провода ПЭЛ 0,3, обмотка *II* — 1 350 витков ПЭЛ 0,1, накальная обмотка *III* — 45 витков ПЭЛ 0,7. Для уменьшения наводок, проникающих из сети переменного тока, между сетевой и остальными обмотками трансформатора проложен электростатический экран, выполненный в виде незамкнутой и заземленной на одном конце обмотки *IV*.

Сначала наматывают сетевую обмотку (она должна быть тщательно изолирована). Провод этой обмотки необходимо наматывать виток к витку, а каждый ее ряд следует обертывать слоем кабельной бумаги (или тремя-четырьмя слоями парафинированной конденсаторной бумаги). Чтобы витки верхних рядов обмотки на краях каркаса не проваливались в нижние ряды, ленту прокладочной бумаги делают на 2—3 *мм* шире, чем длина каркаса, а чтобы такая лента укладывалась в каркасе, по краям ее через каждые 2—3 *мм* прорезают насечки глубиной 2—3 *мм*. Готовую сетевую обмотку необходимо обернуть двумя-тремя слоями лакоткани (или тремя-четырьмя слоями кабельной бумаги).

Затем наматывают экранирующую обмотку *IV*, представляющую собой слой изолированного провода диаметром 0,16—0,2 *мм*. Выводом этой обмотки служит один из концов провода (другой конец нужно изолировать). Поверх экранирующей обмотки прокладывают два-три слоя кабельной бумаги и наматывают накальную обмотку *III*. Обернув ее затем кабельной бумагой (один-два слоя), наматывают обмотку *II*.

Готовую катушку нужно обернуть тремя-четырьмя слоями бумаги. Чтобы трансформатор не гудел, пластины его сердечника перед сборкой рекомендуется смазать машинным маслом. Делитель R_7—R_{14} может быть составлен из резисторов (сопротивлений) МЛТ-1, МЛТ-0,5 или ВС-0,5. Точность подбора их, определяющая точность всего прибора, не должна быть ниже 1—2%. Резистор R_{19} нужно взять типа МЛТ-1. Все остальные примененные резисторы могут быть типов МЛТ-0,5 или ВС-0,5 с допусками ±10%. Переменные резисторы R_4, R_6, R_{17} и R_{21} взяты типа СП-2. Ручка резистора R_{17} для установки нуля выводится на лицевую панель вольтметра. Остальные переменные резисторы размещаются внутри прибора и используются только при его налаживании.

Переключатель $П_1$ состоит из двух плат на пять положений, а переключатель $П_2$ содержит одну плату (желательно керамическую) на одиннадцать положений. В вольтметре применен микроамперметр типа М24 чувствительностью 100 *мка*.

Все детали лампового вольтметра крепятся на передней его панели, изготовленной из гетинакса. Ящик может быть металлический, но можно изготовить его и из фанеры толщиной 8—10 *мм*. Надписи и шкалу можно выполнить фотоспособом. Высокочастотный детектор должен быть заключен в латунный или алюминиевый экран, соединенный кабелем с монтажной панелью вольтметра.

Налаживание вольтметра. Сначала нужно проверить монтаж, затем подобрать лампы и, наконец, откалибровать прибор.

При налаживании следует учесть, что стабильность нуля и величина тока сетки в большой степени зависят от типа и экземпляра лампы. В усилителе постоянного тока лучше всего использовать лампу типа 6Н2П, которая имеет малую величину и достаточную стабильность тока сетки. Следует отобрать такой экземпляр лампы, у которой наиболее идентичны ее триодные части и вместе с тем мал ток сетки. Последнее требование объясняется тем, что на шкале 1,5 *в* в цепи сетки включена сумма сопротивлений R_9—R_{15}, составляющая 25 *Мом*. На таком большом сопротивлении ток сетки может создать заметное падение напряжения, которое нарушит работу вольтметра.

Лампу с малым током сетки можно подобрать на готовом вольтметре. Для этого при прогретом вольтметре устанавливают шкалу 1,5 *в* и замечают показания прибора (его стрелка может находиться на любом делении шкалы — это безразлично). Затем замыкают на шасси сетку левого триода лампы. Оставляют тот экземпляр лампы, при котором изменение положения стрелки прибора при замыкании сетки наименьшее

Несколько менее точный, но более простой способ подбора лампы заключается в том, что наблюдают за изменением положения стрелки микроамперметра при переключении со шкалы 1,5 *в* на шкалу 5 *в*. Изменения положения стрелки могут соответствовать и повышению напряжения на сетке лампы, и понижению его. В первом случае это свидетельствует о протекании в цепи сетки электронного, а во втором — ионного тока. Соотношение между этими токами в лампе определяется ее режимом, т. е. напряжениями накала и анода. Можно так подобрать напряжение анода (правда, не у всех ламп), что электронная и ионная составляющие тока сетки лампы взаимно скомпенсируются и ток во внешней цепи сетки будет равен нулю. Хотя вольтметр будет работать с любой исправной лампой, однако для получения высокой стабильности необходимо подобрать лучшую лампу. (в среднем удается выбрать одну лампу из трех-четырех). Наиболее стабильно работают лампы, предварительно проработавшие 100—200 *ч*.

Для проверки идентичности параметров обоих триодов лампы $Л_3$ переключатель $П_1$ ставят в положение $+U$, а переключатель $П_2$ в положение 500 *в*. Затем включают вольтметр в электросеть и наблюдают за положением стрелки микроамперметра. При близких параметрах обоих триодов положение нуля довольно стабильно, а при большом разбросе их параметров по мере разогрева прибора положение нуля сильно уходит в одну сторону.

Для лучшей стабильности работы вольтметра желательно подобрать лампы $Л_1$ и $Л_2$ также с одинаковыми параметрами. В этом случае при переводе переключателя $П_2$ из одного положения в другое положение стрелки микроамперметра не должно изменяться. Если подобрать эти лампы по каким-либо причинам затруднительно,

то полную компенсацию начальных напряжений диодов можно произвести подбором сопротивлений R_3 и R_5.

Калибровку вольтметра следует начинать с подгонки чувствительности усилителя постоянного тока. Для этого к входному зажиму U нужно подключить источник постоянного напряжения и образцовый вольтметр. Изменением сопротивления R_{21} следует добиться одинаковых показаний обоих вольтметров. При отсутствии образцового вольтметра подгонку чувствительности можно грубо произвести при помощи свежего гальванического элемента типа ФБС, имеющего э. д. с. около 1,6 *в*. Калибровка вольтметра по переменным напряжениям производится регулировкой сопротивлений R_4 и R_6. Для такой калибровки нужен образцовый вольтметр (например, типа В3-2А). Калибровку чувствительности низкочастотного входа производят на частоте 50 *гц*, а высокочастотного — на частоте 1 *Мгц*. Для градуировки шкал можно использовать универсальный делитель (см. стр. 17).

ВОЛЬТ-АМПЕРМЕТР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Краткая характеристика. Прибор предназначен для измерения переменных напряжений от 1,5 *мв* до 500 *в* на шкалах 15, 50, 150, 500 *мв*; 1,5, 5, 50, 150, 500 *в* и переменных токов от 1,5 *мка* до 5 *а* на шкалах 15, 50, 150, 500 *мка*; 1,5, 5, 15, 50, 150, 500 *ма*; 1,5, 5 *а*. Входное сопротивление прибора при измерении напряжения на шкалах 0—15 не менее 65 *ком/в*, а при измерении на шкалах 0—50 — не менее 20 *ком/в*. Максимальное падение напряжения на входном сопротивлении прибора при измерении тока на шкалах 0—15 не превышает 15 *мв*, а на шкалах 0—50 не превышает 50 *мв*.

Частотный диапазон прибора по напряжению при тщательно выполненных монтаже и коррекции составляет 5 *гц*—50 *кгц* на пределах измерения 15, 50, 500 *мв* и 5 *гц* — 20 *кгц* на остальных пределах. Частотный диапазон прибора при измерении тока составляет 5 *гц* — 100 *кгц*.

Прибор питается от гальванической батареи типа КБС-0,5 и потребляет ток 0,6 *ма*. Его внешний вид приведен на рис. 3.

Схема. Вольтметр переменного тока состоит из делителя, усилителя, детектора и индикатора (рис. 4).

Однокаскадный усилитель выполнен по схеме с общим эмиттером на транзисторе T. Для лучшего согласования с детектором сопротивление нагрузки в цепи коллектора выбрано сравнительно небольшим. Ток смещения на базу транзистора поступает через сопротивления R_{13}, R_{14} и R_{15}. Для повышения температурной стабильности напряжение смещения снимается с коллектора транзистора. Конденсатор C_4 служит для устранения отрицательной обратной связи по переменному току, резко снижающей входное сопротивление усилителя.

Усиленное напряжение через конденсатор C_5 подается на детектор параллельного типа, выполненный на диоде $Д$. Сопротивления R_{17} и R_{18} служат для уменьшения чувствительности прибора по напряжению, что необходимо для повышения линейности шкал. Кроме того, при помощи сопротивления R_{18} производится калибровка (подгонка чувствительности) прибора при его регулировке.

Декадный делитель состоит из ряда образцовых сопротивлений, включаемых последовательно с входом усилителя при измерении

напряжения (сопротивления R_1—R_4) и параллельно входу усилителя при измерении тока (сопротивления R_5—R_9). Величины образцовых сопротивлений рассчитаны для входного сопротивления усилителя 1 *ком*.

Для подгонки величины входного сопротивления последовательно с входом усилителя включено сопротивление R_{12}, подбираемое

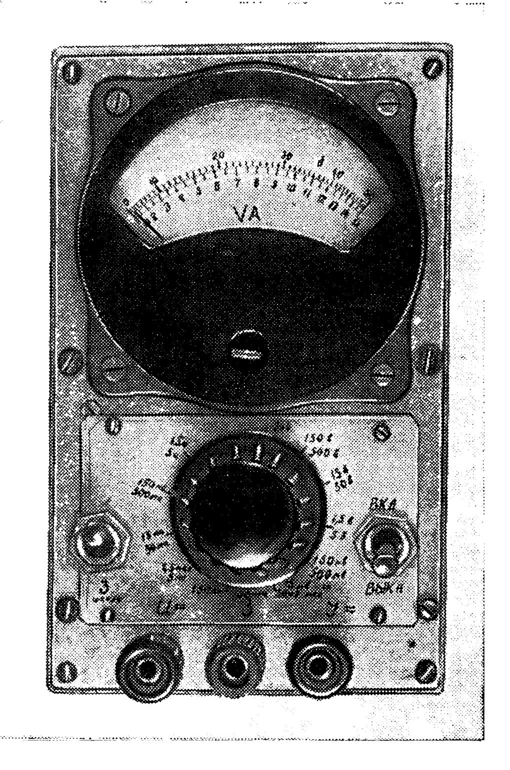


Рис. 3. Внешний вид вольт-амперметра переменного тока.

при налаживании. При входном сопротивлении усилителя 1 *ком* и первой шкале по току 15 *мка* первая шкала по напряжению получается равной 15 *мв* При измерении напряжений усилитель работает как микроамперметр с током полного отклонения 15 *мка*, а при измерении токов — как милливольтметр со шкалой 15 *мв*.

Конденсаторы C_1 и C_2 служат для коррекции емкости между зажимами U и I на верхних частотах измеряемого диапазона. Дело в том, что при больших величинах добавочных сопротивлений

даже сравнительно небольшая емкость, подключенная параллельно образцовому сопротивлению, уже на низких частотах приводит к большой погрешности измерений. Действительно, емкость между зажимами *U* и *I*, равная 10 *пф*, на пределе измерения 150 *в* уже на частоте 1 *кгц* вызывает погрешность измерения около 40% (при отсутствии корректирующего конденсатора C_1). Поскольку полностью

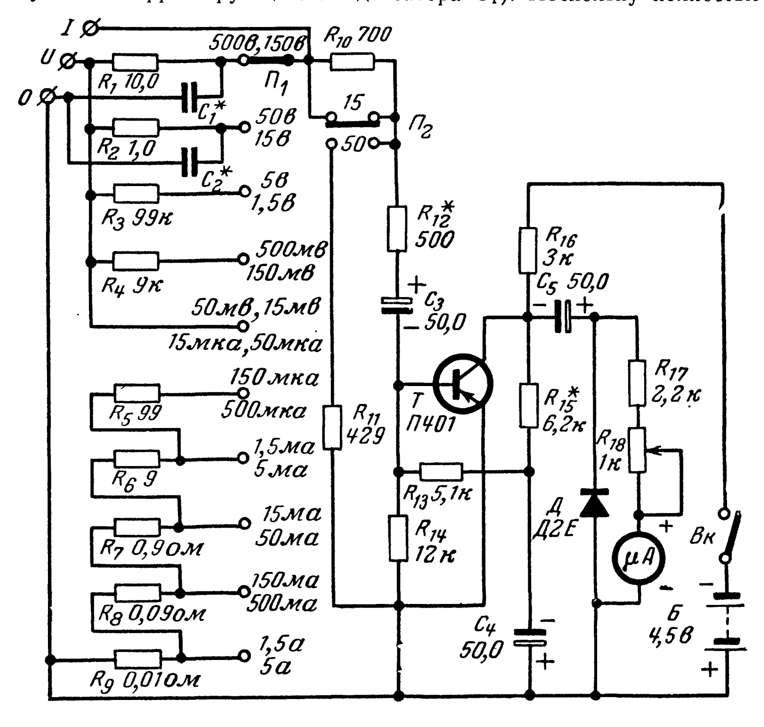


Рис. 4. Схема вольт-амперметра переменного тока.

избавиться от этой емкости невозможно, необходимо применить дополнительный емкостный делитель напряжения, включенный параллельно основному делителю. Одно плечо этого делителя будет образовано паразитной емкостью, включенной параллельно образцовому сопротивлению, а другое плечо — конденсатором C_1 или C_2. Соотношение между паразитной и корректирующей емкостями должно быть равным соотношению между добавочным сопротивлением вольтметра на данном пределе измерения и входным сопротивлением прибора.

Тогда получается так называемый компенсированный делитель частоты, коэффициент деления которого не зависит от частоты. На верхних частотах диапазона работает в основном емкостный дели-

тель, а на нижних — делитель из сопротивлений. При паразитной емкости 10 *пф* на пределе измерения 150 *в* емкость конденсатора C_1 должна быть 0,1 *мф*. На нижних пределах измерения напряжения корректирующая емкость должна быть настолько малой, что ее можно не ставить, тем более, что транзистор имеет входную емкость около 500—1 000 *пф*.

Чтобы расширить пределы измерения прибора без увеличения количества образцовых сопротивлений и контактов, в основном переключателе $П_1$ предусмотрен дополнительный переключатель $П_2$ на два положения (15 и 50). Этим переключателем параллельно входу усилителя подключается сопротивление R_{11}, понижающее чувствительность прибора по току в 3,33 раза. Одновременно с этим переключатель размыкает сопротивление R_{10}, которое, оказавшись включенным последовательно в цепь базы усилителя, понижает чувствительность усилителя по напряжению также в 3,33 раза. Сопротивление R_{10}, кроме того, служит для выравнивания входного сопротивления усилителя (делает его равным 1 *ком*).

Таким образом, в положении *15* переключателя $П_2$ полное отклонение стрелки прибора соответствует входному току 15 *мка* и напряжению 15 *мв* при входном сопротивлении 1 *ком*. В положении *50* переключателя $П_2$ полное отклонение стрелки будет при токе 50 *мка* и напряжении 50 *мв* при том же входном сопротивлении. В первом случае пределы измерения прибора будут 15, 150 *мв*; 1,5, 15, 150 *в* и 15, 150 *мка*; 1,5, 15, 150 *ма*, 1,5 *а*. Во втором случае тем же положениям переключателя $П_1$ соответствуют пределы измерения 50, 500 *мв*; 5, 50, 500 *в* и 50, 500 *мка*, 5, 50, 500 *ма*, 5 *а*.

Детали и конструкция. В приборе использованы малогабаритные резисторы (сопротивления) и конденсаторы. Резисторы R_{13}—R_{17} взяты типа УЛМ, а переменный резистор R_{18} типа СПО-0,15 (их можно заменить резисторами типа ВС-0,25 или МЛТ-0,5). Конденсаторы C_3, C_4 и C_5 желательно применить типа ЭТО-1 (их можно заменить конденсаторами типа ЭМ, однако стабильность работы прибора при этом несколько снизится).

В качестве переключателя $П_2$ и выключателя *Вк* использованы обычные тумблеры. Измерительным прибором служит микроамперметр типа М-494 на 100 *мка*.

Транзистор *Т* должен иметь коэффициент усиления по току β не менее 50 и начальный ток коллектора не более 50 *мка*. Лучше всего использовать транзисторы типов П401—П403, можно применить и транзисторы типа П15 или П14, хотя при этом частотная характеристика в области высоких частот и температурная стабильность несколько ухудшатся.

Образцовые сопротивления R_1—R_4 подобраны из постоянных резисторов типов ВС-0,5 и МЛТ-1 с точностью не хуже $\pm 2\%$. Проволочные резисторы R_5—R_9 изготовлены из константанового провода. В качестве каркасов для их намотки использованы высокоомные резисторы типа ВС-0,25. Намотка бифилярная. Для резисторов R_5 и R_6 применен провод диаметром 0,2 *мм*, для резистора R_7 — провод диаметром 0,3 *мм* и для резистора R_8 — провод диаметром 0,5 *мм*. Резистор R_9 состоит из константанового провода диаметром 0,8 *мм*, сложенного вдвое и припаянного к концам резистора типа ВС-0,25 Подгонка его величины производится облуживанием проволоки и соскабливанием излишков олова, после чего резистор необходимо покрыть лаком. Резисторы R_{10} и R_{11} могут быть типов

УЛМ, ВС или МЛТ. Подогнать их до нужных значений можно при регулировке прибора, причем если сопротивления резисторов подобраны с точностью ±0,5 или ±1%, то процесс регулировки будет значительно облегчен.

Переключатель $П_1$ на 10 положений должен быть рассчитан на пропускание большого (до 10 *а*) тока через контакты и иметь малую межконтактную емкость. Материалом для платы переключателя может служить керамика, органическое стекло или гетинакс. Можно использовать соответствующий переключатель от телефонной аппаратуры. Можно также использовать три-четыре платы стандартного переключателя на 11 положений и соединить соответствующие контакты всех плат параллельно.

При сборке прибора следует соблюдать правила монтажа высокочастотной аппаратуры. Особое внимание следует уделить снижению емкости между зажимами *U* и *I* и корпусом, а также хорошей их изоляции. Необходимо также защитить переключатель $П_1$ от попадания пыли и влаги.

Прибор заключен в стальной футляр. Батарея питания помещена в отдельном гнезде футляра.

Налаживание прибора. Хорошо наладить вольт-амперметр переменного тока можно с помощью милливольтметра типа ВЗ-2А и звукового генератора типа ГЗ-2. Можно, конечно, применять для этого и самодельную измерительную аппаратуру, описание которой приводится в этой брошюре.

Вначале подбирают сопротивление резистора R_{15}. Оно должно быть таким, чтобы напряжение на коллекторе транзистора равнялось половине напряжения батареи питания. Контроль ведется высокоомным вольтметром (например, тестером ТТ-3). Затем калибруют входное сопротивления усилителя. Для этого переключатель $П_1$ ставят в положение 5 *в*, к точке соединения резисторов R_{10} и R_{12} и общему зажиму *0* прибора подключают звуковой генератор и, подавая от него напряжение 15 *мв* частотой 50—100 *гц*, отмечают показание микроамперметра *μA*. Далее, последовательно с выходом звукового генератора включают образцовое сопротивление 1 *ком*, повышают напряжение генератора ровно в 2 раза и изменением сопротивления R_{12} добиваются прежнего показания микроамперметра (при этом входное сопротивление усилителя будет равно 1 *ком*). Если такого показания не будет даже при замкнутом накоротко сопротивлении R_{12}, то тогда придется последовательно с конденсатором C_4 включить сопротивление 200—1 000 *ом*. В этом случае входное сопротивление усилителя уменьшится и его надо регулировать указанным выше способом.

Подогнав входное сопротивление усилителя, калибруют его чувствительность. Для этого на выходе звукового генератора устанавливают напряжение 15 *мв* и изменением сопротивления резистора R_{18} добиваются полного отклонения стрелки микроамперметра. В случае слишком низкой чувствительности усилителя необходимо использовать в нем транзистор с большим коэффициентом усиления, а при слишком высокой чувствительности микроамперметр шунтируют сопротивлением необходимой величины.

Таким образом калибруют коэффициент усиления по напряжению (в положении *15* переключателя $П_2$). Калибровка коэффициента усиления по току получается автоматически, так как входное сопротивление усилителя равно 1 *ком*. При тщательно подобранных со-

противлениях R_{10} и R_{11} калибровка прибора в положении *50* переключателя $П_2$ остается неизменной.

После калибровки прибора градуируют его шкалу. Прибор имеет две шкалы (*15* и *50*). Градуировка производится на частоте 50—100 *гц*. Для этой цели можно воспользоваться универсальным делителем (см. рис. 17).

Для градуировки прибора в положении *15* переключателя $П_2$ переключатель $П_1$ ставят в положение 1,5 *в*, 5 *в*, а на зажимы *U*

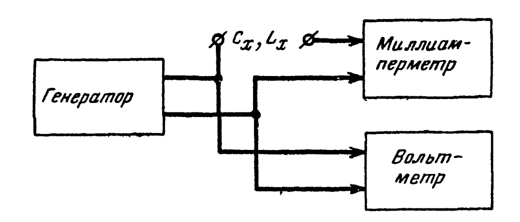


Рис. 5. Блок-схема для измерения емкости и индуктивности по методу вольтметра-амперметра.

и *0* прибора подают напряжение с зажимов *5* и *6* делителя (на входные зажимы *1* и *2* делителя от звукового генератора или лабораторного автотрансформатора подается напряжение около 2,5 *в*). К зажимам *3* и *4* делителя подключают контрольный прибор (например, тестер). Переключатели $П_1$ и $П_2$ делителя ставят соответственно в положения *900* и *100*. После этого переменным резистором R_{10} делителя добиваются полного отклонения стрелки градуируемого прибора. В этом случае на зажимы *U* и *0* прибора подается напряжение 1,5 *в*. При переводе переключателя $П_1$ делителя в положения *800*, *700*, *600* и т. д. напряжение на входе регулируемого прибора будет соответственно 1,35, 1,2, 1,05 *в* и т. д., т. е. при каждом переключении будет уменьшаться на 10% от первоначального. Соответствующие этим напряжениям показания градуируемого прибора записываются, и в дальнейшем по ним вычерчивается шкала. Более мелкие деления можно получить при помощи переключателя $П_2$ универсального делителя.

Градуировка шкалы *50* производится аналогично. Только в этом случае на вход универсального делителя подают напряжение 6—7 *в*, а переключатель $П_2$ градуируемого прибора ставят в положение *50* Полученная описанным способом градуировка будет верна как при измерении тока, так и при измерении напряжения на всех пределах.

Емкость корректирующих конденсаторов C_1 и C_2 подбирают на частоте 10—15 *кгц*. Для этого на вход вольтметра (зажимы *U* и *0*) от звукового генератора подают напряжение 100—150 *в*. Параллельно входу вольтметра подключают высокочастотный образцовый вольтметр. Емкость конденсатора C_1 подбирается такой, чтобы показания образцового и настраиваемого приборов были одинаковыми. Аналогично подбирают емкость конденсатора C_2. Напряжение на входе вольтметра в этом случае должно быть 10—15 *в*.

При помощи описываемого вольт-амперметра можно измерять не только переменные напряжения и токи, но также емкость конденсаторов и индуктивность катушек. Эти измерения выполняют по методу вольтметра-амперметра (рис. 5). Контроль напряжений и токов при измерении емкости или индуктивности производят одним и тем же прибором, подключая его в нужные точки (при отсоединении измерителя тока подходящие к нему концы замыкают накоротко). При напряжении U (в вольтах) звукового генератора и токе I (в миллиамперах) в цепи емкость (в микрофарадах) конденсатора

$$C \approx \frac{160I}{fU},$$

а индуктивность (в генри) катушки

$$L \approx \frac{160U}{fI},$$

где f — частота, *гц*.

Измерение небольших емкостей и индуктивностей производят на частоте 10—20 *кгц* при напряжении 10—15 *в*. Для измерения больших емкостей и индуктивностей можно использовать напряжение электросети частотой 50 *гц*. На частоте 10 *кгц* при напряжении генератора 10 *в* можно измерять емкости от десятков пикофарад, а индуктивности от 0,5—1 *мгн*. На частоте 50 *гц* при напряжении в несколько вольт можно измерять емкости до нескольких тысяч микрофарад, а индуктивности до нескольких тысяч генри. При измерении емкости электролитических конденсаторов амплитуда переменного напряжения на них не должна превышать 10% от номинального рабочего напряжения конденсатора, а частоту напряжения не следует брать выше 50 *гц*.

Следует отметить, что точность измерения емкости и индуктивности при таком методе получается порядка ±5%, что практически в большинстве случаев вполне достаточно.

МОСТИК-СМЕСИТЕЛЬ

Краткая характеристика. Градуировка сигнал-генераторов обычно производится методом сравнения частот калиброванного и настраиваемого приборов. Сравнение частот чаще всего осуществляется по нулевым биениям Для этого очень удобен описываемый здесь мостик-смеситель. Этот прибор состоит из детектора с двумя входами, на один из которых подается сигнал от образцового, а на другой от настраиваемого генератора, фильтра и чувствительного усилителя низкой частоты. Благодаря применению в нем транзисторов удалось получить экономичное, малогабаритное и удобное в обращении устройство, по чувствительности не уступающее довольно сложным аналогичным ламповым приборам.

Мостик-смеситель питается от батареи карманного фонаря типа КБС-0,5 или от другого источника напряжением 4—4,5 *в* и потребляет ток около 1,5 *ма*.

Схема. Усилитель низкой частоты мостика содержит три каскада (рис. 6). Первый каскад для повышения входного сопротивления усилителя выполнен по схеме с общим коллектором на транзисторе T_1. Сопротивление R_4 служит его нагрузкой, а сопротивлением

R_3 подбирается рабочая точка транзистора этого каскада. Второй каскад усиления на транзисторе T_2 собран по схеме с общим эмиттером. Смещение на базу транзистора подается с делителя $R_5 R_6$. В выходном, третьем каскаде на транзисторе T_3 для уменьшения нелинейных искажений и повышения температурной стабильности применена отрицательная обратная связь, подаваемая с коллектора на базу через сопротивление R_9. Нагрузкой этого каскада служит

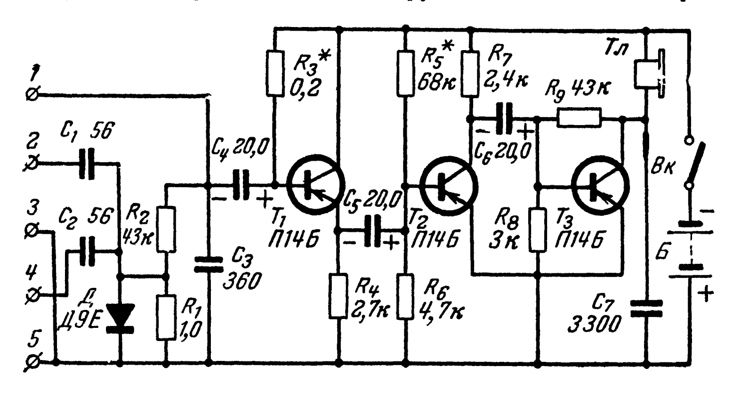


Рис. 6. Схема мостика-смесителя.

высокоомный головной телефон *Тл* Чувствительность усилителя 5 *мв* при входном сопротивлении около 100 *ком*.

При работе мостика на зажимы *2* и *3* подается сигнал от образцового генератора, а сигнал от исследуемого генератора подается на зажимы *4* и *5*. Оба высокочастотных сигнала через разделительные конденсаторы C_1 и C_2 поступают на вход параллельного детектора *Д*. В результате детектирования на выходе детектора появляется ряд комбинационных частот, одна из которых и будет разностной частотой этих высокочастотных сигналов.

Если частоты обоих сигналов достаточно близки, то их разностная частота будет лежать в звуковом диапазоне и после усиления может быть услышана в телефоне. Чем более близки между собой частоты (или их гармоники), тем меньшей будет их разностная частота и тем более низкий звук будет прослушиваться в телефоне. При полном совпадении частот обоих сигналов возникают нулевые биения и звук в телефоне пропадает. При расстройке одного из генераторов в любую сторону в телефоне снова появится звук, тон которого будет тем выше, чем больше расстройка. Для ослабления высокочастотных составляющих спектра частот, полученных после детектора, сигнал на вход усилителя низкой частоты подается через фильтр $R_2 C_3$. Описываемый прибор может найти применение не только как мостик-смеситель, но может быть использован и во многих других случаях. Например, усилитель низкой частоты с детектором можно применить для определения неисправности в приемнике. Для этого, подключая зажимы *2* и *3* к тому или иному каскаду высокой или промежуточной частоты приемника, проверяют прохождение сигнала. При помощи этого прибора можно также конт-

ролировать на слух качество модуляции передатчика (для этого достаточно к зажимам *2* или *4* подключить антенну), ориентировочно определить содержание гармоник в высокочастотном напряжении и т. п. Прибор может использоваться и как чувствительный усилитель низкой частоты. В этом случае низкочастотное напряжение подводится к зажимам *1* и *5*.

Детали и конструкция. В приборе применены малогабаритные детали: резисторы типа УЛМ, электролитические конденсаторы C_4, C_5 и C_6 типа ЭМ, конденсаторы C_1, C_2 и C_3 типа КТК, конденсатор C_7 типа КДС.

Телефонные трубки *Тл* должны быть высокоомными (2×2 000 *ом*). Транзисторы следует выбрать с коэффициентом усиления по току β в пределах 30—80 и начальным током не более 200 *мка*. Вместо указанных на схеме транзисторов типа П14Б можно использовать и другие маломощные транзисторы с соответствующими параметрами, причем в первом каскаде усилителя желательно применить транзистор с малыми шумами, например П13Б.

Мостик-смеситель вместе с батареей *Б* размещен в алюминиевом футляре.

Налаживание. Работа по налаживанию мостика-смесителя заключается в основном в регулировке его усилителя низкой частоты. Пользуясь для этого высокоомным вольтметром (например, Ц-20, АВО-5, ТТ-3 и др.), необходимо проверить и, если потребуется, установить нормальный режим работы всех каскадов усилителя.

Налаживание первых двух каскадов производится подбором сопротивлений смещения R_3 и R_5. При правильно подобранном смещении напряжения на сопротивлениях нагрузки R_4 и R_7 должны быть приблизительно в 2 раза меньше напряжения источника питания. При этом рабочая точка будет находиться приблизительно в середине линейной части характеристики транзистора.

Для регулировки выходного каскада на зажимы *1* и *5* нужно подать сигнал (напряжением 2—3 *мв*) от проигрывателя или звукового генератора. Подбирая затем сопротивление R_9, необходимо добиться наименьших искажений при наибольшей громкости звучания.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ

Краткая характеристика. Этот довольно простой прибор может найти самое разнообразное применение в радиолюбительской практике. С его помощью можно градуировать вольтметры и омметры, его можно использовать как магазин сопротивлений, как выходной делитель для звуковых генераторов и генераторов высокой частоты и во многих других случаях.

Схема. Прибор представляет собой реостатный двухдекадный делитель напряжения (рис. 7). Одно его плечо состоит из десяти сопротивлений (R_{11}—R_{20}) по 10 *ом* каждое, соединенных друг с другом последовательно. Подключение этих сопротивлений осуществляется при помощи переключателя $П_2$. Другое плечо декадного делителя содержит девять последовательно включенных сопротивлений (R_1—R_9) по 100 *ом* каждое и переключатель $П_1$.

При использовании прибора в качестве магазина сопротивлений его подключают через гнезда *5* и *6*. Переключателем $П_1$ устанавливают величину сопротивления грубо (через 100 *ом*), а переключателем $П_2$ — более точно (через 10 *ом*). Получившееся при этом об-

щее сопротивление R_x равно сумме сопротивлений в обеих декадах. Например, если переключатель $П_1$ установлен в положение *600*, а переключатель $П_2$ в положение *50*, общее сопротивление будет 650 *ом*.

Если прибор используется как делитель напряжения, то к гнездам *1* и *2* подводят напряжение $U_{вх}$ от звукового генератора, сигнал-генератора, сети переменного тока, батареи постоянного тока и

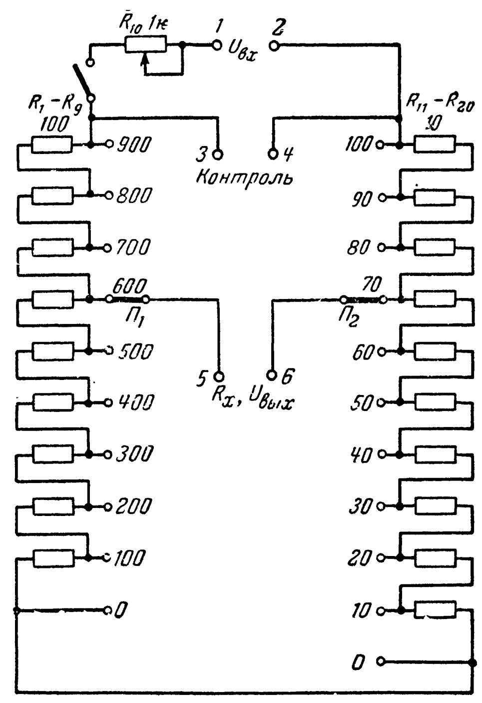


Рис. 7. Схема универсального делителя.

т. п., а к гнездам *3* и *4* подключают соответствующий контрольный прибор. Необходимую величину подаваемого на делитель напряжения устанавливают переменным сопротивлением R_{10}. Выходное напряжение $U_{вых}$ снимают с гнезда *5* и *6*. При помощи переключателей $П_1$ и $П_2$ напряжение на выходе прибора можно снизить в определенное число раз. Если, например, на зажимах *3* и *4* установлено напряжение 1 *в*, то переключателем $П_1$ можно изменять его на выходе через 100 *мв*, а переключателем $П_2$ — через 10 *мв*. Выходное напряжение при этом будет равно сумме показаний переключателей. Например, при положении *300* переключателя $П_1$ и положении *20* переключателя $П_2$ напряжение на выходе делителя будет 320 *мв*.

Если источник и потребитель должны иметь общую (заземляющуюся) точку соединения, то напряжение можно снимать с гнезд *4*

(общая точка) и *5* или *6*. При этом напряжение на выходе будет изменяться только при помощи одного соответствующего переключателя. Если напряжение снимается с гнезд *4* и *5*, то напряжение на выходе можно изменять только переключателем $П_1$ через 100 *мв*. Максимальный коэффициент деления при этом равен 10, а минимальный равен *1*. Если же напряжение снимается с гнезд *4* и *6*, то выходное напряжение можно изменять только переключателем $П_2$ через 10 *мв*. Максимальный коэффициент деления в этом случае равен 100, а минимальный равен 10.

Порядок изменения выходного напряжения в зависимости от положений переключателей $П_1$ и $П_2$ соблюдается только в том случае, если входное сопротивление нагрузки, подключаемой к зажимам *5* и *6*, в несколько сот раз больше максимального сопротивления делителя. При меньшем сопротивлении нагрузки появится погрешность, величина которой зависит от положения переключателей. Погрешность делителя меньше ±1% будет только при сопротивлении нагрузки более 100 *ком* и на сравнительно низких частотах.

Детали и конструкция. Резисторы R_1—R_9 типов ВС-0,25 или МЛТ-0,5. Их следует подобрать на мостике с точностью не хуже ±0,5%. Если не удастся подобрать резисторы с такой точностью, то сопротивления их можно подогнать путем частичного удаления проводящего слоя. Для этого надо использовать резисторы с меньшим на несколько процентов сопротивлением. Сначала с резистора удаляют краску и тщательно просушивают его. Затем обычной школьной красной резинкой стирают часть проводящего слоя до получения требуемого сопротивления После этого резистор необходимо покрыть лаком и тщательно просушить.

Для поддержания температурной стабильности необходимо выбирать резисторы одинакового типа и мощности. В этом случае при изменении температуры сопротивления всех резисторов будут меняться почти одинаково и коэффициент деления будет изменяться незначительно.

Резисторы R_{11}—R_{20} изготовлены из константановой проволоки ПЭЛШОК 0,2—0,3. Каркасом для них служат готовые резисторы типа МЛТ-0,5 сопротивлением более 10 *ком*. Сначала на измерительном мостике отмеряют куски проволоки необходимой длины и припаивают их к выводам резисторов, подгоняя при этом сопротивления с точностью не хуже ±0,5%. Затем концы проволоки сводят к середине каркаса, складывают проволоку вдвое и наматывают ее на каркас. После этого каркас с обмоткой покрывают лаком и тщательно просушивают.

Переменный резистор R_{10} взят типа СП на 2 *вт*. Для переключателей $П_1$ и $П_2$ использованы стандартные платы на 11 положений.

Для того чтобы делителем можно было пользоваться в достаточно широком диапазоне частот, монтаж его деталей необходимо вести с учетом требований, предъявляемых к высокочастотной аппаратуре. Все постоянные резисторы надо крепить непосредственно на лепестках переключателя. Соединительные провода должны быть возможно короче. Гнезда *1* и *2*, а также *3* и *4* лучше выполнить в виде коаксиальных разъемов. Делитель размещен в металлическом корпусе.

В радиолюбительской лаборатории желательно иметь два-три таких делителя, чтобы можно было при необходимости использовать их поодиночке или включать последовательно друг с другом.

ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТРАНЗИСТОРОВ

Краткая характеристика. Транзисторы одного и того же типа в отличие от электронных ламп имеют большой разброс параметров, поэтому радиолюбителю необходим хотя бы простейший прибор для

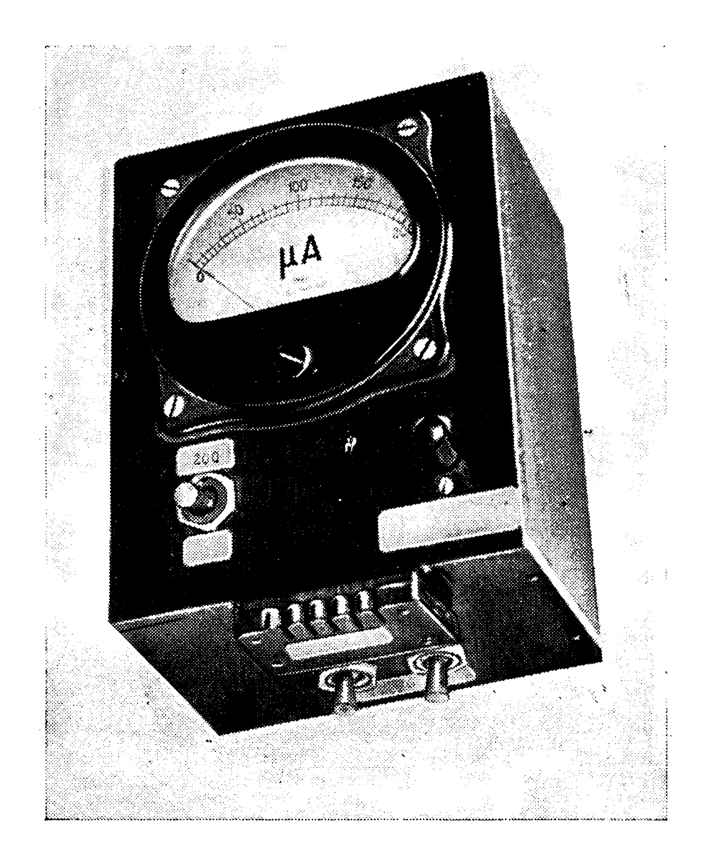


Рис. 8. Внешний вид прибора для проверки транзисторов.

измерения коэффициента усиления по току β и начального тока коллектора $I_{к0}$ в схеме с общим эмиттером. Описываемый прибор (рис. 8) позволяет проверять транзисторы как с *p-n-p*, так и с *n-p-n* переходами. Наименьший измеряемый коэффициент усиления по току $\beta=3$, а наибольший коэффициент $\beta=300$. Измерения производятся на двух поддиапазонах (0—30 и 0—300). Пределы измерения начального тока $I_{к0}$ составляют 0—300 *мка*. Измерение его выполня-

ется при токе коллектора от 0,3 до 3 *ма*. Источником питания служит гальваническая батарея напряжением 4,5 *в*.

Схема. Принципиальная схема прибора для проверки транзисторов приведена на рис. 9. В основу прибора положен следующий принцип. Как известно, приращение тока коллектора $I_к$ в статическом режиме прямо пропорционально приращению тока базы $I_б$. При известном токе базы ток коллектора прямо пропорционален коэффициенту усиления β транзистора, т. е. $I_к = \beta I_б + I_{к0}$. Следовательно, шкала прибора получается равномерной. Если при измерениях значения тока $I_б$ постоянны, то шкала может быть проградуирована непосредственно в значениях β (при малом токе $I_{к0}$).

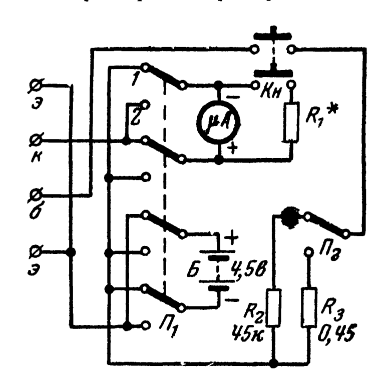


Рис. 9. Схема прибора для проверки транзисторов.

Измерение параметров проводят в следующем порядке. Переключатель $П_1$, изменяющий полярность подключения микроамперметра и батареи питания, ставят в положение *1* или *2*, соответствующее виду измеряемого транзистора (*р-п-р* или *п-р-п*). Транзистор подключают к зажимам *к-б-э* или *э-к-б*. При ненажатой кнопке *Кн* в цепи коллектора транзистора проходит только начальный ток $I_{к0}$, так как база транзистора ни к чему не подключена. Этот ток отмечают по шкале измерительного прибора — микроамперметра μ*А* на 300 *мка*.

При нажатии кнопки *Кн* на базу транзистора через сопротивления R_2 или R_3 подается напряжение U от батареи питания *Б*. Одновременно микроамперметр шунтируется сопротивлением R_1 и его ток полного отклонения становится равным 3 *ма*. В цепи базы транзистора появляется дополнительный ток

$$\Delta I_б = \frac{U}{R_2 + R_{б.э}} \text{ или } \Delta I_б = \frac{U}{R_3 + R_{б.э}},$$

где $R_{б.э}$ — сопротивление участка база — эмиттер транзистора.

Так как сопротивление $R_{б.э}$ значительно меньше сопротивлений R_2 и R_3, то его значением практически можно пренебречь. Увеличение тока базы на $\Delta I_б$ вызывает увеличение тока коллектора на $\Delta I_к = \Delta I_б \beta$, которое отмечают по шкале измерительного прибора.

В большинстве случаев током $I_{к0}$ при измерении β можно пренебречь (так как при этом чувствительность прибора уменьшается в 10 раз), поэтому отсчет значений β можно производить непосредственно по показаниям шкалы прибора. Если же значением тока пренебречь нельзя, то β определяется по формуле

$$\beta_д = \beta_{пр} - \frac{I_{к0}}{10},$$

где $\beta_д$ — действительное значение коэффициента усиления по току, а $\beta_{пр}$ — показание по шкале прибора.

Переход с одного предела измерения β на другой производится переключателем $П_2$, подключающим в цепь базы транзистора сопротивление R_3 или R_2 и тем самым изменяющим ток базы в 10 раз. На шкале $\beta=30$ ток базы $I_б=100$ *мка*, а на шкале $\beta=300$ ток $I_б=$ $=10$ *мка*.

Детали и конструкция. В качестве переключателя $П_1$ можно использовать телефонный ключ или два спаренных шестиконтактных тумблера. Переключателем $П_2$ может служить обычный тумблер. Прибор питается от батареи типа КБС-0,5 и помещается в деревянном футляре. Контакты для подключения транзисторов следует изготовить из гартованной латуни или фосфористой бронзы.

ЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР НА ЧАСТОТУ 400 *гц*

Краткая характеристика. Для проверки звуковых трактов аппаратуры часто достаточно иметь генератор синусоидальных колебаний, настроенный на какую-либо одну фиксированную частоту

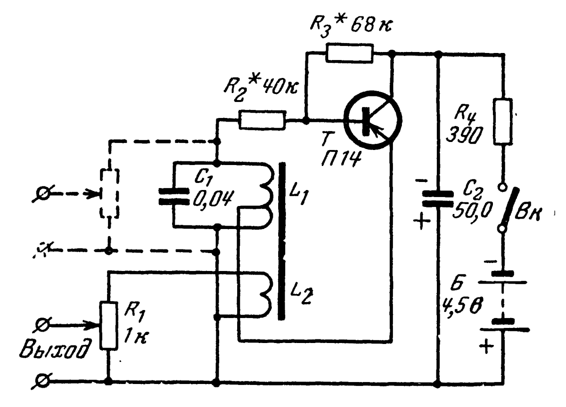


Рис. 10. Схема звукового генератора на частоту 400 *гц*.

звукового диапазона, например на частоту 400 *гц*. Так как в этих случаях стабильность частоты генератора не имеет существенного значения, а на первый план выступает простота постройки и наладки, то предпочтение следует отдать *LC*-генераторам на транзисторах. Катушка колебательного контура в таком генераторе при использовании ферромагнитного сердечника может быть простой и малогабаритной.

Генератор питается от гальванической батареи напряжением 4,5 *в* и потребляет ток около 2 *ма*. Максимальное выходное напряжение при высокоомном выходе около 5 *в*, а при низкоомном — около 1 *в*. Коэффициент нелинейных искажений хорошо налаженного генератора не более 0,5%.

Схема. Звуковой генератор собран на транзисторе T по трехточечной схеме с общим коллектором (рис. 10). Колебательный контур состоит из катушки L_1 и конденсатора C_1. Для уменьшения шунтирующего действия транзистора эмиттер последнего связан с катушкой контура через небольшое число витков, а последовательно с его базой включено сопротивление R_2.

Напряжение звуковой частоты можно снимать непосредственно с колебательного контура, подключив параллельно ему потенциометр в 300—500 *ком*, как это показано на схеме штриховыми линиями. В этом случае максимальное выходное напряжение составляет 5 *в*, но выход генератора получается высокоомным, что удобно лишь при налаживании ламповых схем. В радиолюбительской практике, однако, чаще требуются генераторы со сравнительно небольшим напряжением и низкоомным выходом.

Низкоомный выход можно получить, если снимать напряжение с потенциометра R_1, включенного параллельно дополнительной (выходной) катушке L_2. Максимальное выходное напряжение в этом случае составляет 1 *в*. При таком способе включения нагрузки генератор пригоден для налаживания как ламповых, так и транзисторных схем.

Детали и конструкции. Для изготовления генератора можно использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы (сопротивления) соответствующих номиналов. Транзистор T тоже можно применить любого типа. Его коэффициент усиления по току β должен быть не менее 20, а начальный ток коллектора $I_{к0}$ не более 200 *мка*

Для катушек L_1 и L_2 использованы каркас и пластины от трансформатора карманного приемника «Нева» (пермаллоевые пластины Ш-3, толщина пакета 6 *мм*). Катушка L_1 состоит из 1 000+200 витков, а катушка L_2 — из 220 витков провода ПЭЛ 0,07.

Для питания генератора можно применить источник с более низким напряжением, например гальванический элемент типа ФБС напряжением 1,6 *в*, однако при этом в несколько раз снизится выходное напряжение и потребуется снова подобрать сопротивление R_2.

Налаживание. При регулировке звукового генератора нужно подобрать емкость конденсатора C_1 такой, чтобы получить частоту 400 *гц*, а также подобрать сопротивление R_2 таким, чтобы напряжение на контуре получилось синусоидальным и работа генератора была устойчивой. Следует учесть, что при изменении напряжения питания более чем на $\pm 20\%$ нарушается стабильность работы генератора или ухудшается форма кривой генерируемого напряжения.

Если от генератора не требуется большое напряжение, то конденсатор C_2 можно из схемы исключить. При этом напряжение на выходе генератора уменьшится почти в 2 раза.

ЗВУКОВОЙ *RC*-ГЕНЕРАТОР

Краткая характеристика. Генератор рассчитан на диапазон частот 25 *гц*—30 *кгц* с поддиапазонами 25—450 *гц*, 400 *гц* — 4,5 *кгц* и 3—20 *кгц*. Наибольшее напряжение, снимаемое с генератора, составляет 2 *в*, а наименьшее равно 0,2 *мв*. Коэффициент нелинейных искажений зависит от уровня сигнала на выходе. При напряжении на выходе 2 *в* нелинейные искажения могут достигать 5%, а при

напряжении 1 *в* они составляют около 1%. При дальнейшем уменьшении выходного напряжения искажения еще более уменьшаются.

Генератор собран на пяти транзисторах. Питается он от двух последовательно соединенных батарей типа КБС-0,5 напряжением 9 *в* и потребляет ток 6 *ма*.

Схема. Транзисторы T_1—T_4 образуют усилитель, охваченный частотно-зависимой обратной связью; а на транзисторе T_5 собран измерительный каскад (рис. 11). Первый каскад усилителя на транзисторе T_1 для повышения входного сопротивления собран по схеме с общим коллектором. Нагрузкой каскада служит сопротивление база — эмиттер транзистора T_2. Для улучшения равномерности усиления по диапазону и увеличения входного сопротивления каскада последовательно с разделительным конденсатором C_7 включено сопротивление R_5, вследствие чего изменение сопротивления конденсатора в зависимости от частоты оказывает малое влияние на каскад. Конденсатор C_7 способствует устойчивости рабочей точки транзистора при регулировке частоты. Для повышения температурной стабильности смещение на базу транзистора T_1 подается с коллектора следующего каскада. Рабочая точка устанавливается сопротивлениями R_7, R_6 и подбирается при налаживании сопротивлением R_7. Второй каскад на транзисторе T_2 собран по схеме с заземленным эмиттером. Для уменьшения нелинейных искажений в цепи эмиттера транзистора T_2 включено сопротивление R_8, на которое подается напряжение отрицательной обратной связи с выходного каскада.

Третий каскад на транзисторе T_3 также собран по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой его служит сопротивление база — эмиттер транзистора T_4. Смещение на базу транзистора автоматическое и подается через сопротивления R_{14} и R_{13} с последующего каскада. Такое включение способствует повышению температурной стабильности обоих каскадов. Напряжение на базу транзистора T_3 поступает с транзистора T_2 через разделительный конденсатор C_8 и выравнивающее сопротивление R_{10}.

Четвертый каскад на транзисторе T_4 для уменьшения выходного сопротивления выполнен по схеме с общим коллектором. Нагрузкой этого каскада служит декадный делитель R_{16}—R_{19} и сопротивление R_{15}. Отсюда через конденсатор C_4, C_5 или C_6 подается напряжение положительной обратной связи на вход первого каскада усилителя, а через цепочку $R_{12}C_9R_{11}$ — напряжение отрицательной обратной связи на второй его каскад. Величина отрицательной обратной связи может регулироваться сопротивлением R_{12}, которое вместе с тем используется для плавной регулировки выходного напряжения. Преимущество такого способа регулировки состоит в том, что изменением отрицательной обратной связи можно в больших пределах компенсировать изменение коэффициента передачи усилителя и регулирующей цепочки *RC* при изменении частоты. Кроме того, такой способ регулировки выходного напряжения позволяет получить минимальные искажения при малой амплитуде сигнала на выходе усилителя.

Делитель состоит из четырех калиброванных сопротивлений (R_{16}—R_{19}), соединенных с выходными зажимами. Низкоомный выход в области низких напряжений (1 *ом* при 2 *мв* и 10 *ом* при 20 *мв*) ослабляет влияние различных наводок на делитель, что позволяет значительно упростить его конструкцию. Следует учесть,

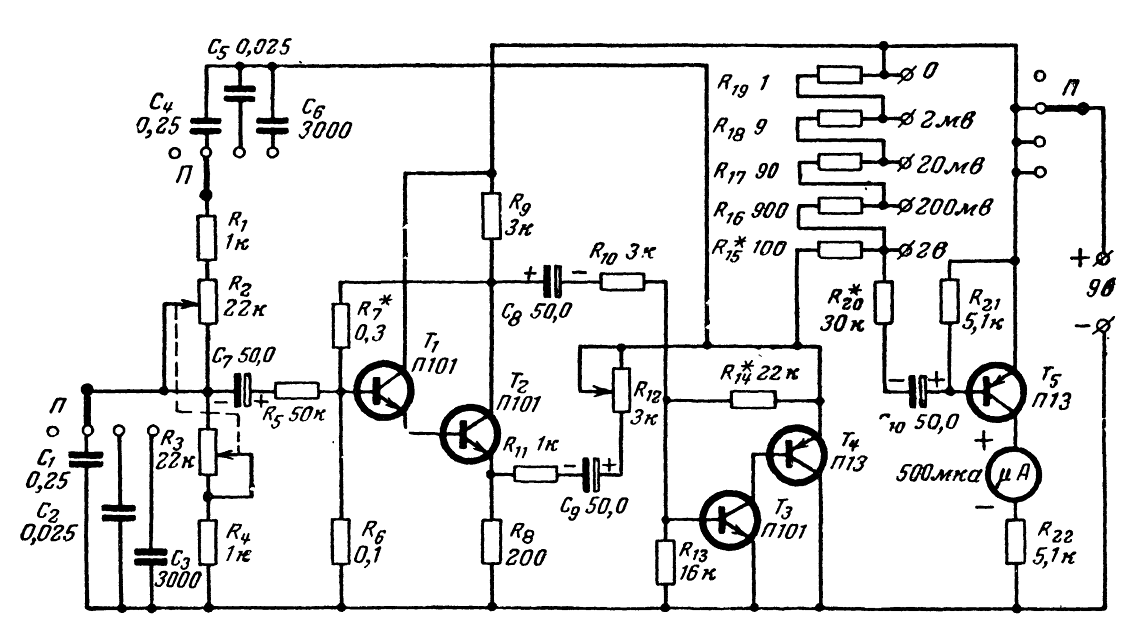


Рис. 11. Схема звукового *RC*-генератора на транзисторах.

что при включении делителя, как это показано на схеме, на него, кроме переменной составляющей напряжения, попадает и постоянная составляющая. Однако это не является серьезным недостатком, так как в большинстве случаев на входе каждого усилителя низкой частоты имеется свой разделительный конденсатор. Непосредственное же включение делителя в цепь эмиттера позволило обойтись без разделительного конденсатора большой емкости (в несколько сотен микрофарад).

Измерительный каскад собран на транзисторе T_5, который используется как детектор. В цепи его коллектора включены последовательно микроамперметр μA, используемый как вольтметр, и ограничительное сопротивление R_{22}, защищающее этот прибор от перегрузки в момент включения источника питания. Для уменьшения частотной погрешности вольтметра последовательно с разделительным конденсатором C_{10} включен резистор R_{20}, уменьшающий зависимость сопротивления этой цепочки от частоты. Подбором сопротивления R_{20} регулируется чувствительность вольтметра.

Конструкция и детали. Генератор смонтирован на алюминиевой панели толщиной 1,5 *мм* и на плате из органического стекла толщиной 4 *мм*, прикрепленной к панели двумя винтами. Футляр для генератора изготовлен из 10-миллиметровой фанеры и оклеен изнутри алюминиевой фольгой, вывод от которой соединяется с отрицательным полюсом батареи, помещаемой в футляре. Задняя крышка футляра изготовлена из миллиметровой фанеры и также оклеена фольгой. Шкала генератора вычерчена на ватманской бумаге и наклеена на панель. Габариты прибора в основном ограничиваются размерами шкалы и батареи питания.

Особое внимание следует уделить изготовлению спаренного переменного резистора из двух резисторов R_2 и R_3. Для него надо подобрать одинаковые резисторы типа СП с показательной зависимостью изменения сопротивления от угла поворота оси (резисторы группы В). У отобранных резисторов снимают крышки. У одного из них отпиливают ось вместе с нарезной втулкой, подравнивают место распила напильником и в центре оставшейся укороченной оси просверливают сквозное отверстие диаметром около 1 *мм*. У второго резистора со стороны крышки просверливают в оси отверстие того же диаметра на глубину около 5 *мм*. В это отверстие вставляют и припаивают кусок стальной проволоки диаметром 1 *мм*. Затем в крышке этого резистора просверливают отверстие диаметром около 5 *мм* для прохода куска стальной проволоки, укрепляют ее на резисторе, а на выходящий конец проволоки насаживают резистор со спиленной осью и прикрепляют (припаивают) его к крышке. Совместив после этого движки обоих резисторов, стальную проволоку нужно припаять к укороченной оси резистора. Затем следует прикрепить вторую крышку и проверить омметром изготовленный спаренный резистор.

Налаживание. Для налаживания и градуировки звукового генератора нужны электронный осциллограф, звуковой генератор с плавной регулировкой частоты, высокоомный вольтметр переменного тока, тестер и измеритель нелинейных искажений. Вначале надо отрегулировать третий и четвертый каскады генератора. Для этого конденсатор C_8 отпаивают от коллектора транзистора T_2 и через него подают напряжение от звукового генератора. Вместо резистора R_{14} следует подключить переменный резистор в 100 *ком*. К зажимам

0 и 2 *в* делителя подключают осциллограф и вольтметр переменного тока.

Вначале от звукового генератора подают напряжение 5—10 *мв* и изменением сопротивления переменного резистора R_{14} добиваются наибольшего напряжения на зажимах 0 и 2 *в*. Затем напряжение от генератора плавно увеличивают до тех пор, пока не появятся нелинейные искажения (одностороннее ограничение синусоиды). Тогда, изменяя сопротивление резистора R_{14}, нужно попытаться устранить искажения и, опять увеличивая напряжение от генератора и меняя сопротивление, получить неискаженный сигнал максимального напряжения (обычно не превышает 3 *в*). После этого переменный резистор R_{14} заменяют постоянным резистором того же сопротивления.

Затем производят калибровку измерительного каскада. Для этого напряжение от звукового генератора, подаваемое на вход транзистора T_3, устанавливают таким, чтобы на зажимах 0 и 2 *в* напряжение было 2 *в*, и подбором сопротивления R_{20} устанавливают соответствующее максимальное отклонение стрелки измерительного прибора. Шкала прибора получается неравномерной, поэтому необходимо ее проградуировать. При отсутствии сигнала на входе измерительного блока стрелка прибора должна находиться на нуле. Если этого не удастся добиться, то надо попробовать заменить транзистор T_5 другим транзистором с меньшим начальным током. Можно также для этого уменьшить (до 1 *ком*) сопротивление резистора R_{21} и соответственно снизить сопротивление R_{20}, однако это вызовет увеличение частотной погрешности. Следует учесть, что точность измерительного блока зависит от напряжения источника питания, поэтому при эксплуатации генератора не рекомендуется допускать, чтобы оно падало ниже 7 *в*.

По окончании регулировки измерительного блока схему надо восстановить и приступить к налаживанию первых двух каскадов. Для этого конденсатор C_7 отпаивают от точки соединения резисторов R_2 и R_3 и через него на вход первого каскада подают напряжение от звукового генератора. Подбором сопротивления R_7 добиваются наибольшего усиления при наименьших искажениях. Сопротивление R_{12} при этом должно быть максимальным. Закончив регулировку этих каскадов, надо восстановить схему, после чего звуковой генератор должен возбудиться.

Окончательную регулировку генератора производят подбором сопротивления R_5. Для этого устанавливают высшую генерируемую частоту и при максимальном сопротивлении R_{12} изменением сопротивления R_5 добиваются того, чтобы стрелка измерительного прибора слегка заходила за шкалу, т. е. чтобы напряжение на делителе немного превышало 2 *в*. Затем проверяют, не падает ли напряжение ниже 2 *в* по всему диапазону. Градуировку изготовленного генератора можно произвести по образцовому генератору при помощи осциллографа (по фигурам Лиссажу).

Недостатком описанного генератора является изменение выходного напряжения при изменении частоты, что несколько увеличивает трудоемкость работы при снятии частотных характеристик. Второй его недостаток заключается в изменении частоты при регулировке отрицательной обратной связи. Изменение это сравнительно невелико (не более $\pm 5\%$), однако его необходимо учитывать при настройке резонансных систем.

СИГНАЛ-ГЕНЕРАТОР ДЛЯ НАСТРОЙКИ КАСКАДОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Краткая характеристика. При постройке или ремонте супергетеродинного приемника радиолюбителю довольно часто приходится выполнять работу по настройке контуров промежуточной частоты. Для этого можно изготовить простое устройство на транзисторе, представляющее собой генератор немодулированных колебаний с узким диапазоном регулируемой частоты и растянутой шкалой.

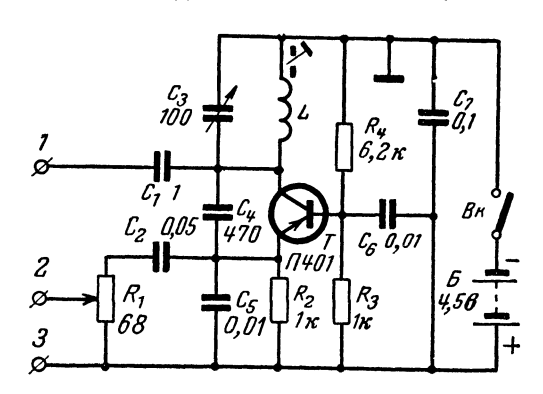


Рис. 12. Схема сигнал-генератора для настройки каскадов промежуточной частоты.

Описываемый здесь сигнал-генератор в зависимости от примененной в его контуре катушки индуктивности может быть рассчитан на ту или иную стандартную промежуточную частоту. Питается такой генератор от гальванической батареи напряжением 4,5 *в*.

Схема. Генератор собран на транзисторе T по схеме с общей базой (рис. 12). Рабочая точка транзистора устанавливается сопротивлениями делителя R_3 и R_4 в цепи базы и сопротивлением R_2 в цепи эмиттера.

Колебательный контур, определяющий частоту генератора, состоит из катушки L, параллельно которой подключены конденсатор настройки C_3 и группа последовательно соединенных конденсаторов C_4, C_5 и C_7. Поскольку емкость конденсатора C_7 значительно превышает емкости конденсаторов C_4 и C_5, ее влиянием на частоту контура можно пренебречь. Тогда частота колебаний генератора может быть приблизительно определена по формуле

$$f \approx \frac{10^6}{2\pi\sqrt{L\left(C_3 + \frac{C_4 C_5}{C_4 + C_5}\right)}},$$

где f — частота колебаний генератора, *кгц*;
L — индуктивность катушки, *мкгн*;
C_3, C_4 и C_5 — емкости конденсаторов, *пф*.

Напряжение высокой частоты можно снимать через разделительный конденсатор с контура (зажимы *1* и *3*) или через разделительный конденсатор C_2 с эмиттера (зажимы *2* и *3*). В первом случае оно может достигать 3 *в*, но выход генератора получается высокоомным и подключенная к нему нагрузка оказывает большое влияние на частоту и амплитуду колебаний. Практически этим выходом можно пользоваться только в том случае, если емкость разделительного конденсатора будет не более 1 *пф*. Если же напряжение снимать с эмиттера транзистора, то оно не будет превышать 100 *мв*, но зато выход генератора получится низкоомным (не более 50 *ом*) и влияние нагрузки на частоту генератора будет незначительным.

Сигнал-генератор может быть рассчитан на одну или несколько промежуточных частот. В последнем случае в схему необходимо ввести переключатель или гнезда для нескольких катушек. Генератор устойчиво работает в диапазоне частот от 100 *кгц* до 2 *Мгц*. Для получения более высоких частот надо уменьшить емкость конденсатора C_5. На частотах более 10 *Мгц* необходимо также уменьшить емкость конденсатора C_4 и сопротивления R_2.

Детали и конструкция. Катушка контура L для частоты 110 *кгц*, содержащая 350 витков провода ПЭЛ 0,12, помещена в сердечнике типа СБ-3а. Для частоты 465 *кгц* катушка с таким же сердечником должна иметь 80 витков провода ЛЭШО 10×0,07. Катушку для частоты 1,6 *Мгц*, состоящую из 40 витков провода ЛЭШО 10×0,07, наматывают внавал на секционированном каркасе диаметром 10 *мм*, внутрь которого помещен магнитодиэлектрический сердечник для подстройки.

Остальные детали сигнал-генератора — стандартные.

Все детали прибора смонтированы на небольшой изоляционной плате, заключенной вместе с источником питания в алюминиевый корпус.

Налаживание. При исправных деталях налаживание сигнал-генератора сводится в основном к установке нормального режима и подгонке индуктивности катушки L.

Шкалу сигнал-генератора можно отградуировать в килогерцах или в процентах величины отклонения от средней частоты. В последнем случае нуль получается в середине шкалы. Градуировка в килогерцах облегчает отсчет показаний, но требует отдельных шкал для каждого поддиапазона частот. Градуировка же в процентах хотя и требует дополнительных подсчетов для построения частотных характеристик, но имеет то преимущество, что одна и та же шкала может использоваться на любой частоте при любой подключенной катушке. Это позволяет использовать сигнал-генератор не только для настройки каскадов промежуточной частоты, но и для настройки входных контуров приемника (при подобранной катушке L), для проверки полосы пропускания всего приемного тракта и во многих других случаях.

Коэффициент перекрытия поддиапазона, определяемый пределами изменения емкости конденсатора C_3, желательно взять ±5% от основной частоты на частотах выше 300 *кгц* и ±10% на частотах ниже 300 *кгц*.

СИГНАЛ-ГЕНЕРАТОР НА ДЛИННЫЕ И СРЕДНИЕ ВОЛНЫ

Краткая характеристика. Генератор рассчитан на диапазон частот 50 *кгц* — 2 *Мгц* с поддиапазонами 50—105, 100—210, 200—

430, 420—880 *кгц* и 850 *кгц* — 2 *Мгц*. Наибольшая амплитуда выходного напряжения 100 *мв*. Выходное сопротивление генератора в зависимости от поддиапазона изменяется от 0,1 до 100 *ом*.

Прибор собран на трех транзисторах и питается от гальванической батареи типа КБС-0,5, потребляя от нее ток 30—40 *ма*.

Схема. Сигнал-генератор состоит из высокочастотного генератора, модулятора и декадного делителя (рис. 13). Высокочастотный генератор выполнен на транзисторе T_1 по схеме с общей базой. Такая схема позволяет получить наибольшую стабильность частоты и амплитуды колебаний при сравнительно небольших нелинейных искажениях. Рабочая точка транзистора устанавливается сопротивлением R_2, блокированным по высокой частоте емкостью C_4, и сопротивлением R_1.

Колебательный контур с той или иной катушкой, например с катушкой L_6, включается в схему генератора через соответствующие катушки связи, например L_1 и L_{11}. Все эти катушки размещены на общем каркасе магнитодиэлектрика. Сопротивление колебательного контура на резонансной частоте достаточно велико, поэтому амплитуда напряжения высокой частоты на катушке L_1 близка к напряжению питания, а напряжение на контурной катушке L_6 может в несколько раз превышать напряжение питания (15—20 *в*). С части контура (с отвода его катушки) сигнал напряжением около 1 *в* подается на потенциометр R_6, а с него через ограничительное сопротивление R_{13} на делитель R_{14}—R_{17}. Сопротивление R_{13} включено для уменьшения влияния нагрузки на частоту контура.

Модулятор состоит из генератора синусоидальных колебаний, настроенного на частоту 400 *гц*, и усилителя. Генератор низкой частоты собран на транзисторе T_3 по схеме с общим эмиттером с индуктивной обратной связью. Частота его колебаний определяется индуктивностью обмотки *II* трансформатора *Тр* и емкостью конденсатора C_7, включенных в цепь базы транзистора. Цепочка C_6R_{11} включена для коррекции формы низкочастотных колебаний.

Напряжение низкой частоты поступает на потенциометр R_9, а с него через сопротивление R_8 и разделительный конденсатор C_5 — на базу транзистора T_2 усилительного каскада. Нагрузкой этого каскада служит сопротивление R_4. Так как напряжение питания на высокочастотный генератор подается через это сопротивление, то для развязки каскадов оно блокировано по высокой частоте конденсатором C_3. Для уменьшения нелинейных искажений усилителя на базу транзистора T_2 с его коллектора подается напряжение отрицательной обратной связи. Потенциометром R_9 регулируют глубину модуляции. Выключается модуляция тумблером $Вк_1$ путем замыкания его контактов (в положении тумблера, показанном на схеме, модуляция включена).

Детали и конструкция. Все катушки сигнал-генератора намотаны на каркасах диаметром 12 и длиной 40 *мм*. Внутри каждого каркаса по всей его длине помещен ферритовый сердечник. Сначала на каркасе наматывают катушку контура. Намотку делают внавал между щечками, куда предварительно закладываются нитки. Закончив намотку, щечки снимают, обмотку стягивают нитками и пропитывают парафином. Катушку связи в цепи коллектора наматывают на одну сторону контурной катушки, вплотную к ней, а катушку связи в цепи эмиттера с другой стороны контурной катушки, тоже вплотную к ней.

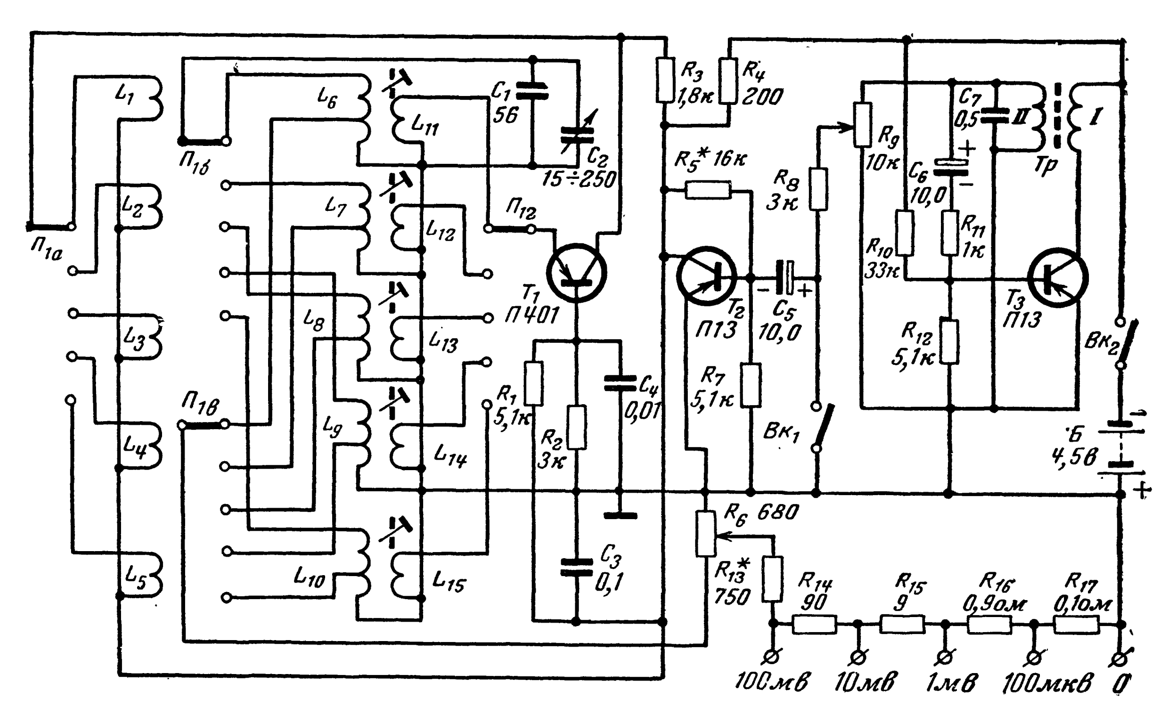


Рис. 13. Схема сигнал-генератора на длинные и средние волны.

Катушка L_6 содержит 700 витков провода ЛЭШО 3×07 с отводом от 70-го витка, а катушки L_1 и L_{11} имеют соответственно 100 и 50 витков провода ПЭЛ 0,1. Катушка L_7 состоит из 350 витков провода ЛЭШО 3×0,07 с отводом от 35-го витка, а катушки L_2 и L_{12} имеют соответственно 50 и 25 витков провода ПЭЛ 0,1. Катушка L_8 содержит 200 витков провода ЛЭШО 3×0,07 с отводом от 20-го витка, катушки L_3 и L_{13} имеют соответственно 30 и 15 витков провода ПЭЛ 0,15. Катушка L_9 содержит 140 витков провода ПЭЛШО 0,2 с отводом от 14-го витка, а катушки L_4 и L_{14} имеют соответственно 21 и 10 витков провода ПЭЛ 0,15. Катушка L_{10} состоит из 95 витков провода ПЭЛШО 0,2 с отводом от 10-го витка, а катушки L_5 и L_{15} имеют соответственно 13 и 6 витков провода ПЭЛ 0,15.

Число витков катушек может быть и другим (в зависимости от магнитной проницаемости сердечников), но соотношения между числами витков соответствующих катушек поддиапазона должны быть неизменными.

Трансформатор модулятора *Тр* собран на сердечнике (стержне) длиной 30 *мм* из феррита с магнитной проницаемостью 1 000. Обмотка *I* состоит из 600 витков провода ПЭЛ 0,1, а обмотка *II* из 2 500 витков ПЭЛ 0,07. Обе обмотки намотаны внавал, причем ближе к сердечнику размещена обмотка *II*.

Размеры сигнал-генератора и его внешнее оформление могут быть выбраны самим радиолюбителем. Важно лишь для уменьшения излучения тщательно экранировать весь блок сигнал-генератора и отсек для источника питания. Делитель лучше сделать выносным.

Налаживание. Прежде всего необходимо проверить стабильность амплитуды выходного напряжения при изменении емкости конденсатора C_2 на всех поддиапазонах. Если амплитуда изменяется значительно, то надо увеличить число витков катушки связи в цепи эмиттера. Нужное выходное напряжение можно получить, изменяя число витков контурной катушки между ее отводом и заземленным концом. Этим же способом можно добиться и равномерности амплитуды выходного напряжения на разных поддиапазонах.

Подгонка поддиапазонов усложняется тем, что ферритовый сердечник нельзя использовать для регулировки частоты в больших пределах, так как при значительном перемещении сердечника уменьшается степень связи между катушками. Поэтому контурную катушку лучше всего предварительно настроить (например, при помощи *Q*-метра) на требуемую частоту.

Налаживание модулятора заключается в установке режима работы транзистора T_3 для получения неискаженных синусоидальных колебаний. В основном приходится подбирать сопротивления R_{10} и R_{11}. В усилителе нужно подобрать сопротивление R_5.

Цена 09 коп.